



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

# 混凝土结构设计

## 模块二：混凝土结构材料的物理力学性能

### 单元1：混凝土的强度

主讲：李朝红

# 目录

---

1. 单向应力状态下混凝土的强度

2. 复合应力状态下的混凝土强度

# 1. 单向应力状态下的混凝土强度

## 1) 混凝土的立方体抗压强度

——混凝土基本强度指标

**(1) 立方体抗压强度标准值：**边长150mm的立方体试件，按照标准方法制作养护（温度 $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ 、相对湿度不小于95%的潮湿空气中养护28d），用标准试验方法，测得的具有95%保证率的抗压强度，记为 $f_{\text{cu,k}}$ ，单位为MPa。

# 1. 单向应力状态下的混凝土强度

《公路桥规》根据立方体抗压强度标准值 $f_{cu,k}$ 进行了强度等级的划分，称为**混凝土的强度等级**，用符号C表示。

公路桥梁的混凝土强度等级从**C15~C80**共分为**14**个等级，中间以5MPa进级，分别为C15、C20、C25、.....C80，C后面的数字表示立方体抗压强度标准值，如C15表示 $f_{cu,k}=15\text{MPa}$ 。

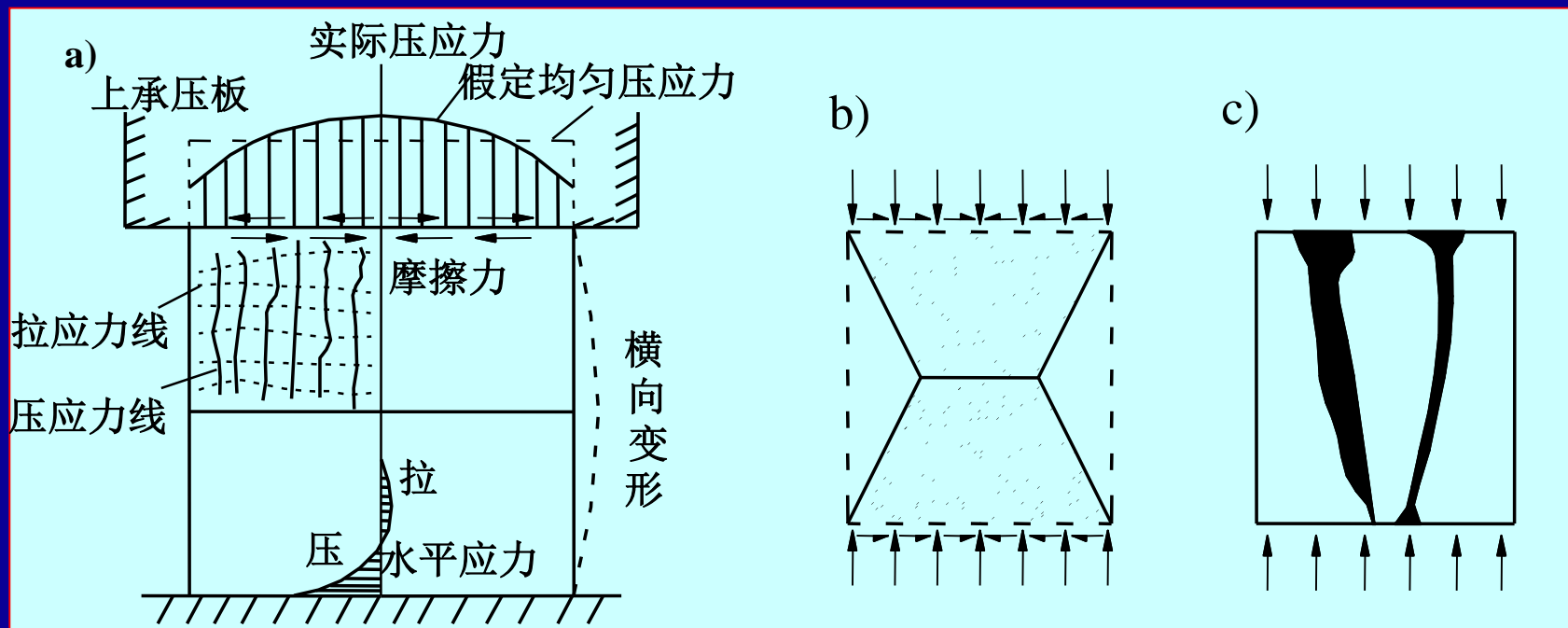
# 1. 单向应力状态下的混凝土强度

## (2) 影响立方体抗压强度的因素

### ➤ 试验方法

- 直接受压 (标准试验方法)
- 间接受压 (在试件上下表面涂以润滑剂)

# 1. 单向应力状态下的混凝土强度



**a) 立方体试件的受力**

**b) 不加润滑剂的破坏状态**

**c) 承压板和试件上下表面之间涂以润滑剂**

立方体抗压强度试件

# 1. 单向应力状态下的混凝土强度

## ➤ 试件尺寸（尺寸效应）

试件尺寸	强度折减系数 (关于立方体强度)
<b>150×150×150</b>	<b>1.0</b>
<b>200×200×200</b>	<b>1.05</b>
<b>100×100×100</b>	<b>0.95</b>

# 1. 单向应力状态下的混凝土强度

---

## ➤ 试验时混凝土的龄期

**混凝土抗压强度随成型后混凝土的龄期逐渐增长，增长的速度开始较快，后来渐缓慢。**

## ➤ 加载速度的影响

**加载速度越快，强度越高，因为裂缝没有充分发展。**



# 1. 单向应力状态下的混凝土强度

## 2) 混凝土的轴心抗压强度

(或称棱柱体抗压强度)

**(1) 定义：**以150mm×150mm×300mm棱柱体为标准试件，按与立方体试件相同的制作、养护条件和标准试验方法测得的具有95%保证率的抗压强度，记为 $f_{c,k}$ 。

轴心抗压强度能真实反映以受压为主的混凝土结构构件的抗压强度。

# 1. 单向应力状态下的混凝土强度

## 2) 混凝土的轴心抗压强度

**(2) 影响因素: 试件高度 $h$ 与边长 $b$ 之比, 比值越大, 轴心抗压强度越低。**

**当 $h/b$ 由1增至2时, 混凝土强度降低很快, 但是当 $h/b$ 由2增至4时, 其抗压强度变化不大, 因为在此范围内即可消除试件与垫板间摩阻力的影响, 又可避免试件因纵向初弯曲产生的影响, 测得的轴心抗压强度较稳定。**

## 1. 单向应力状态下的混凝土强度

(3)  $f_{c,k}$ 与 $f_{cu,k}$ 的关系：

$$f_{ck} = 0.88\alpha_{c1}\alpha_{c2}f_{cu,k} \quad (1.1-1)$$

式中： $\alpha_{c1}$ —混凝土轴心抗压强度与立方体抗压强度的比值，C50及以下的混凝土取0.76，对C80取0.82，中间按照线性内插；

$\alpha_{c2}$ —考虑混凝土脆性的折减系数，C40及以下取1.0，对C80取0.87，中间按线性内插。

混凝土轴心抗压强度低于立方体抗压强度，即  $f_{c,k} < f_{cu,k}$ 。

## 1. 单向应力状态下的混凝土强度

国外常采用圆柱体试件确定混凝土轴心抗压强度。

例如：美国、日本和欧洲混凝土协会(CEB)采用直径6英寸(152mm)、高12英寸(305mm)的圆柱体标准试件的抗压强度作为轴心抗压强度的指标，记作  $f_c'$ 。

# 1. 单向应力状态下的混凝土强度

## 3) 混凝土抗拉强度

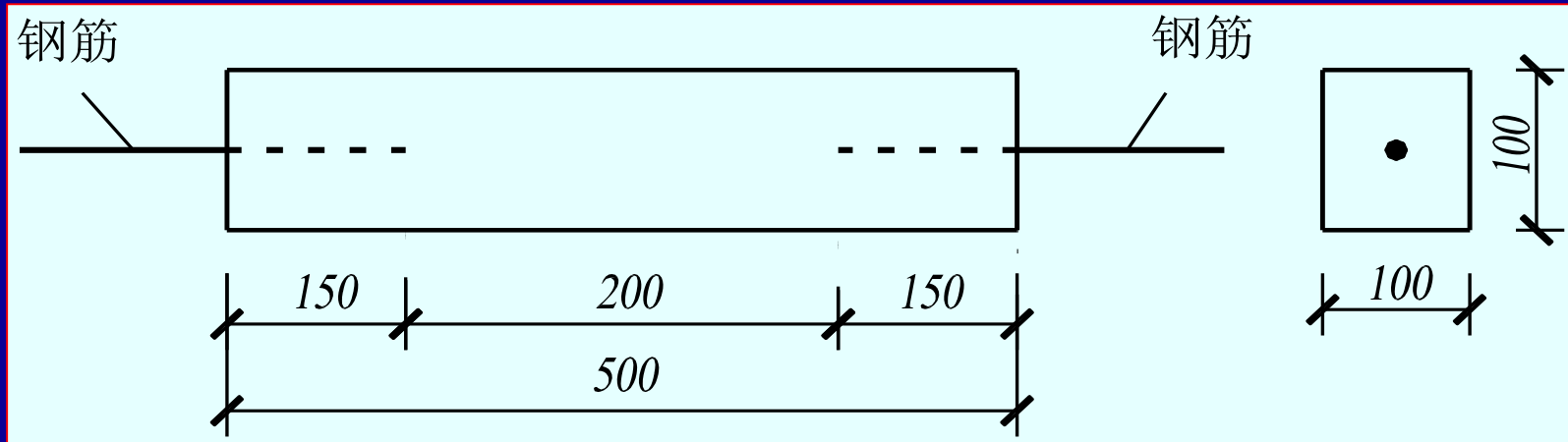
抗拉强度是混凝土的基本力学指标之一。

混凝土构件开裂、裂缝、变形，以及受剪、受扭、受冲切等的承载力均与  $f_t$  有关。

$$f_t = \left( \frac{1}{8} \sim \frac{1}{18} \right) f_c$$

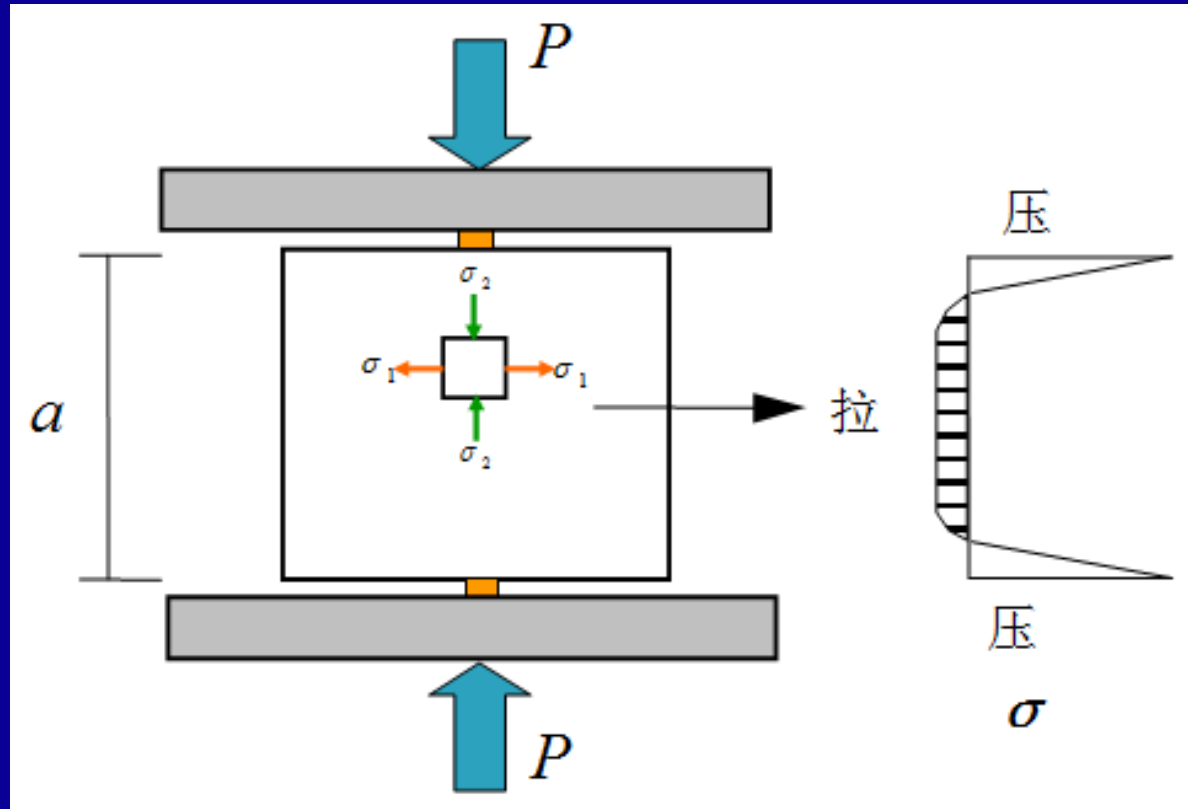
该比值随混凝土抗压强度等级的增大而减小。

# 1. 单向应力状态下的混凝土强度



方法一：直接轴向拉伸法

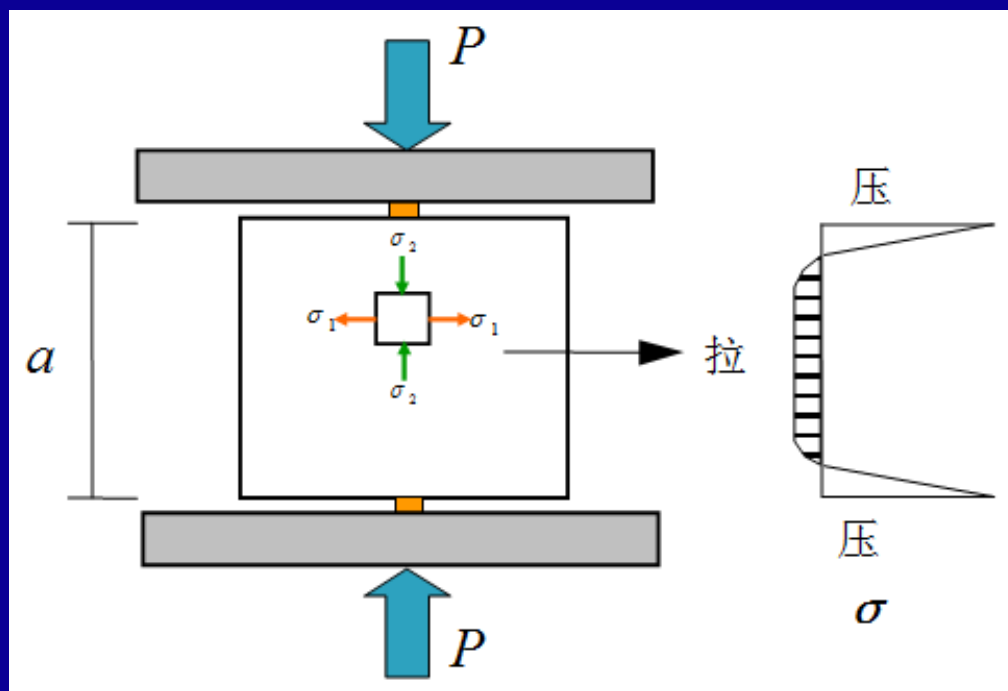
# 1. 单向应力状态下的混凝土强度



方法二：劈裂试验

# 1. 单向应力状态下的混凝土强度

除垫条附近外，在试件中间垂直面上就产生了拉应力，它的方向与加载方向垂直，并且基本上是均匀的，当拉应力达到混凝土的抗拉强度时，试件即被劈裂成两半。





## 1. 单向应力状态下的混凝土强度

《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》  
(JTGE30-2005) 采用150mm立方块可测混凝土的劈裂抗拉强度  $f_{ts}$

$$f_{ts} = \frac{2F}{\pi A} \quad (1.1-2)$$

式中： $F$ —劈裂破坏荷载；

$A$ —试件劈裂面面积（ $\text{mm}^2$ ）。

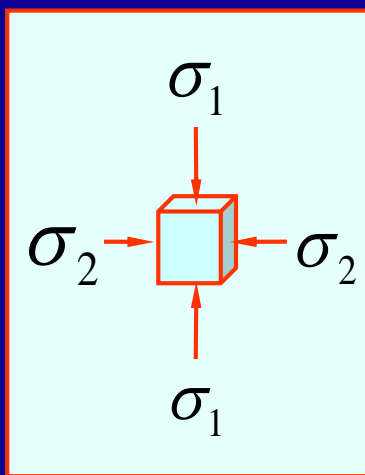
$$f_t = 0.9 f_{ts}$$



## 2. 复合应力作用下混凝土的强度

### 1) 双轴受力时混凝土的强度

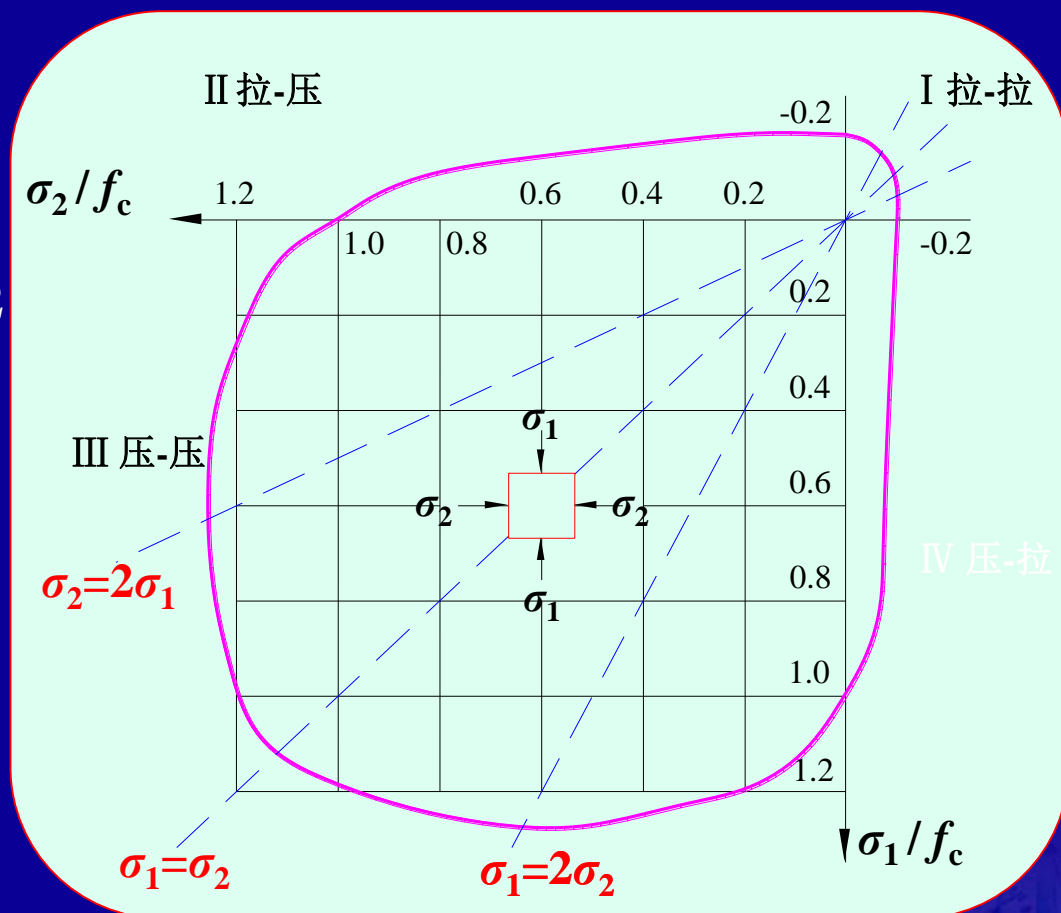
在两个相互垂直的平面上，作用着法向应力 $\sigma_1$ 和 $\sigma_2$ ，第三个平面上的法向应力为零。



双向正应力状态

## 2. 复合应力作用下混凝土的强度

➤ 双向受拉时（右图中第一象限），无论应力比值  $\sigma_1/\sigma_2$  如何，实测破坏强度基本不变，即双向受拉的混凝土抗拉强度均接近于单向抗拉强度。

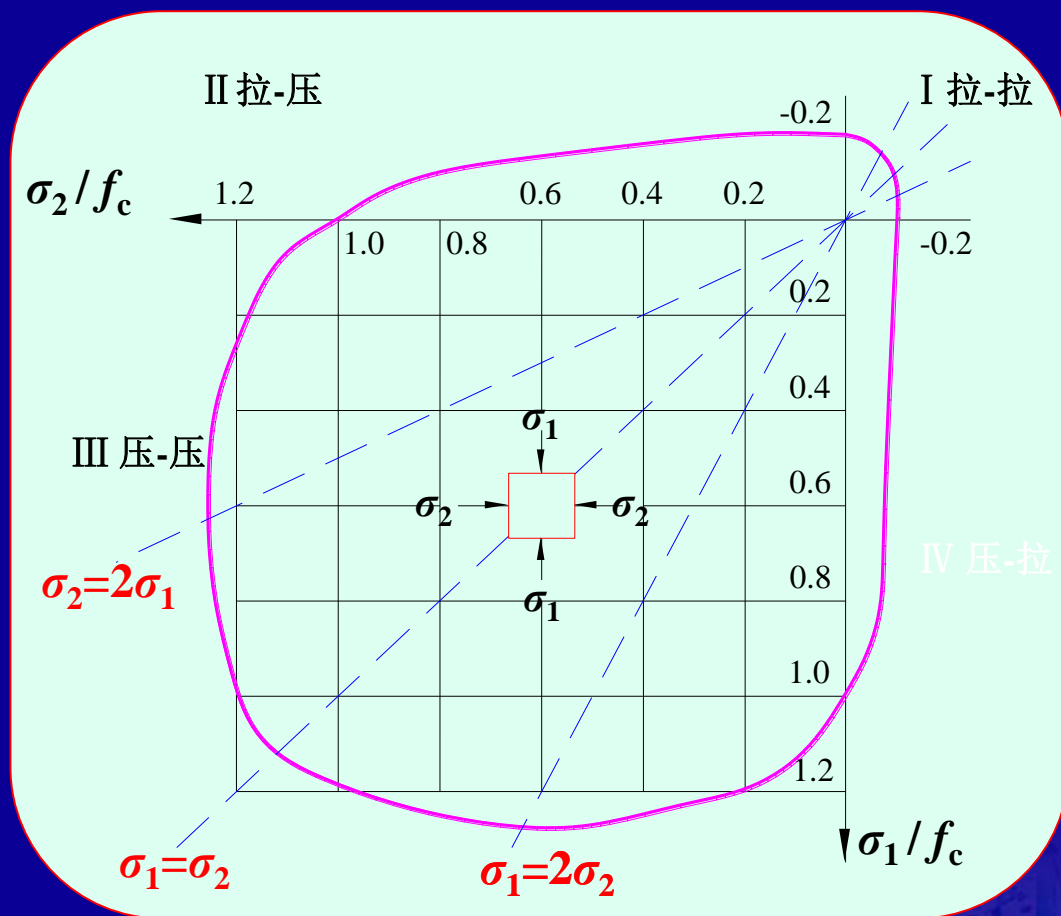


双向正应力状态下混凝土强度变化曲线

## 2. 复合应力作用下混凝土的强度

➤ **双向受压时（右图中第三象限），一向的混凝土强度随着另一向压应力的增加而增加。**

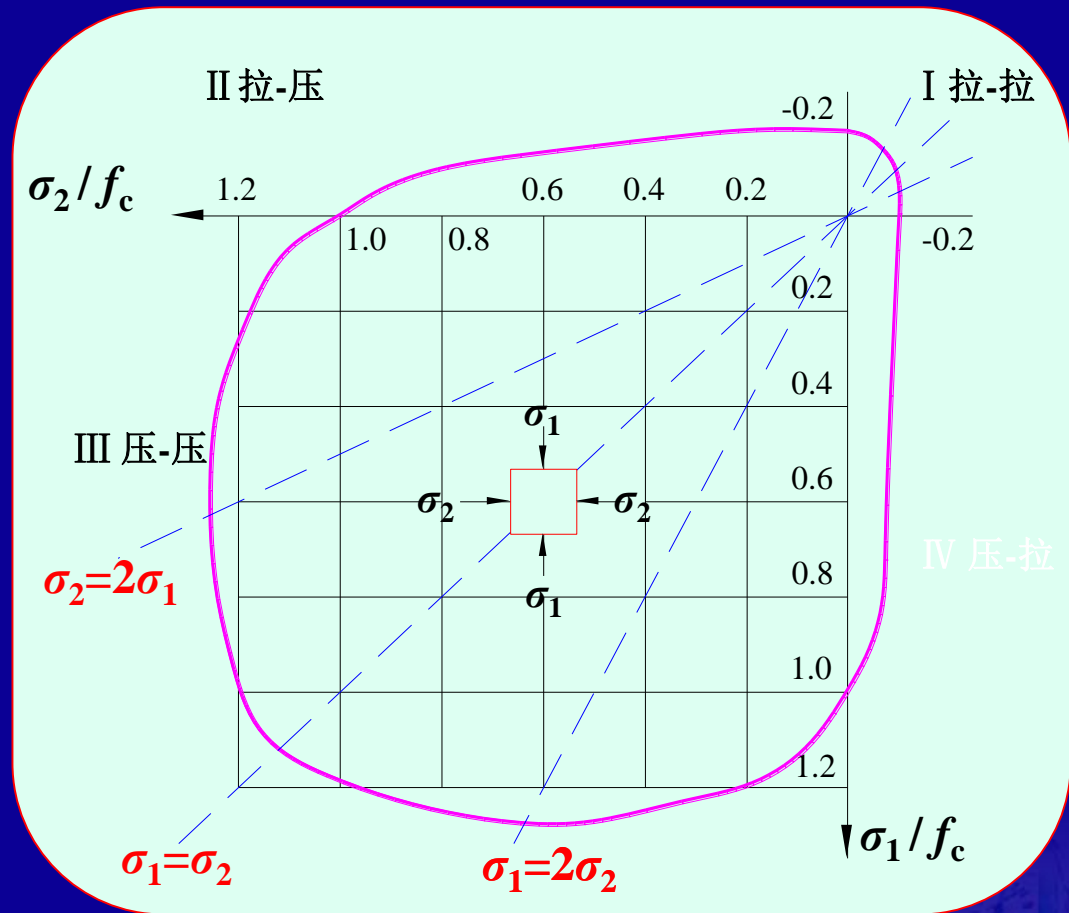
$\sigma_1/\sigma_2$ 约等于2或0.5时，比单向抗压强度增加约为25%左右。



双向正应力状态下混凝土强度变化曲线

## 2. 复合应力作用下混凝土的强度

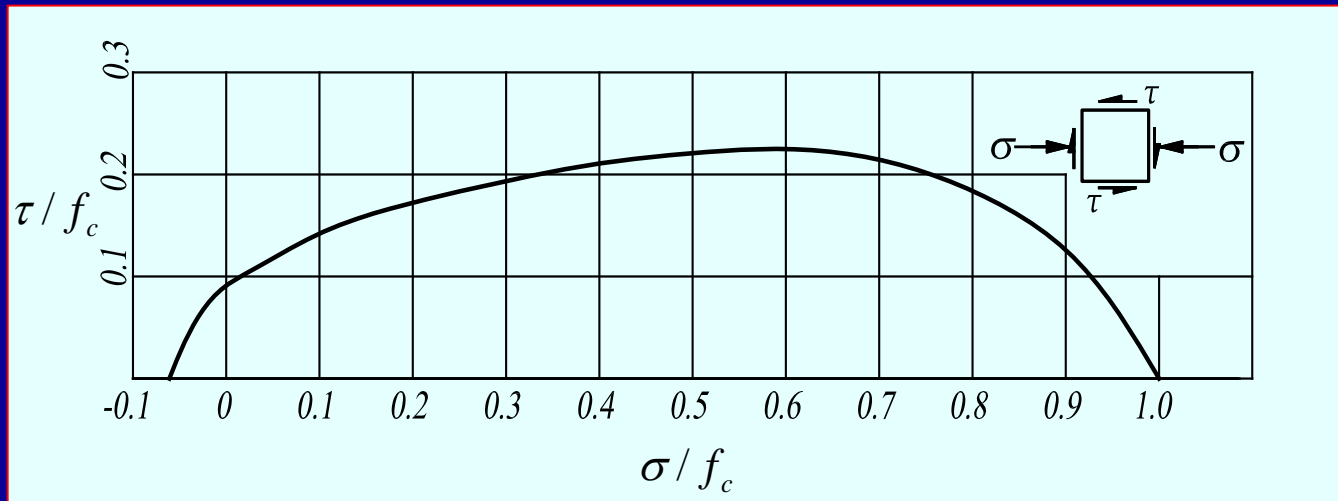
➤ 一向受拉一向受压时（右图中二、四象限）混凝土的强度均低于单向受力（压或拉）的强度。



双向正应力状态下混凝土强度变化曲线

## 2. 复合应力作用下混凝土的强度

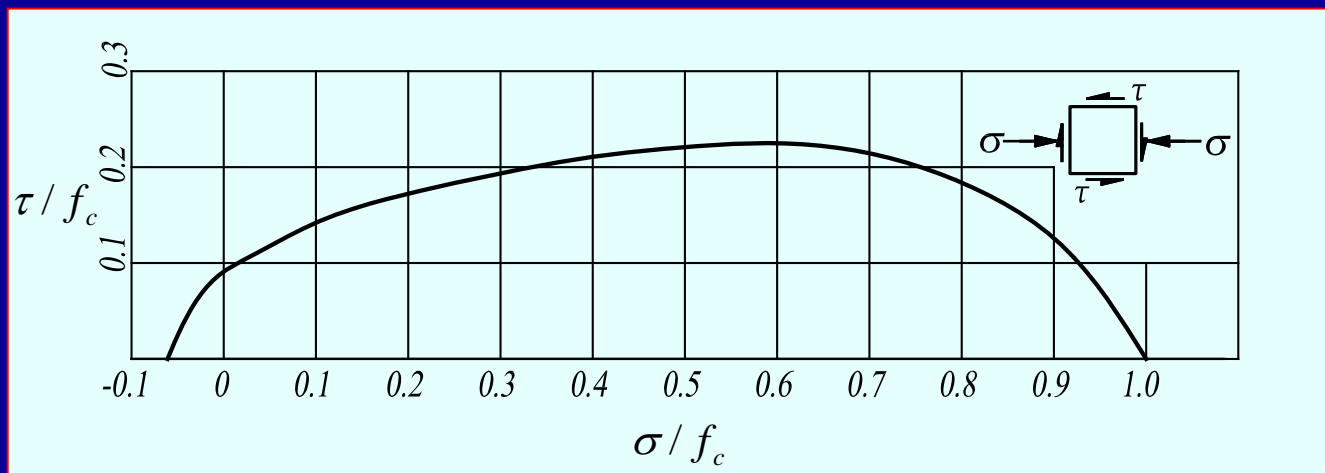
### 2) 正应力与剪应力共同作用时混凝土的强度



法向应力与剪应力组合时的强度曲线

- ❖ **拉剪**：由于剪应力的存在使抗拉强度降低。
- ❖ **压剪**：抗压强度由于剪应力的存在而降低。

## 2. 复合应力作用下混凝土的强度



❖ 压剪时抗剪强度遵循以下规律：

当  $\sigma/f_c < (0.5 \sim 0.7)$  时，抗剪强度随压应力的增大而增大；

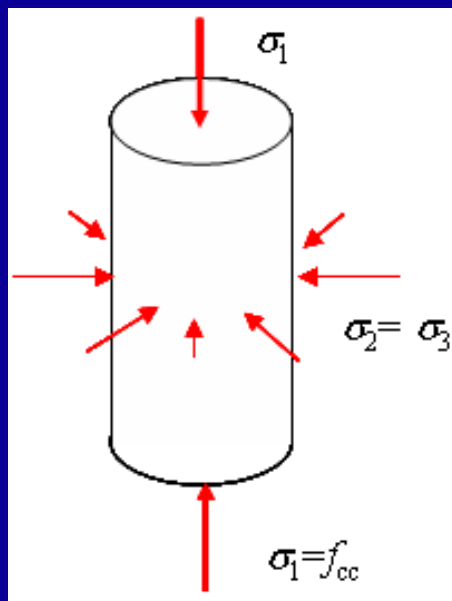
当  $\sigma = 0.6f_c$  左右时，抗剪强度达到最大；

当  $\sigma/f_c > (0.5 \sim 0.7)$  时，抗剪强度随压应力的增大而减小。

## 2. 复合应力作用下混凝土的强度

### 3) 三轴受压时混凝土的强度

三向受压时，混凝土的强度和延性均有较大的增长。



三向受压状态时混凝土的强度

圆柱体三向受压的轴心抗压强度  $\sigma_1$  与侧压  $\sigma_2$  的经验公式：

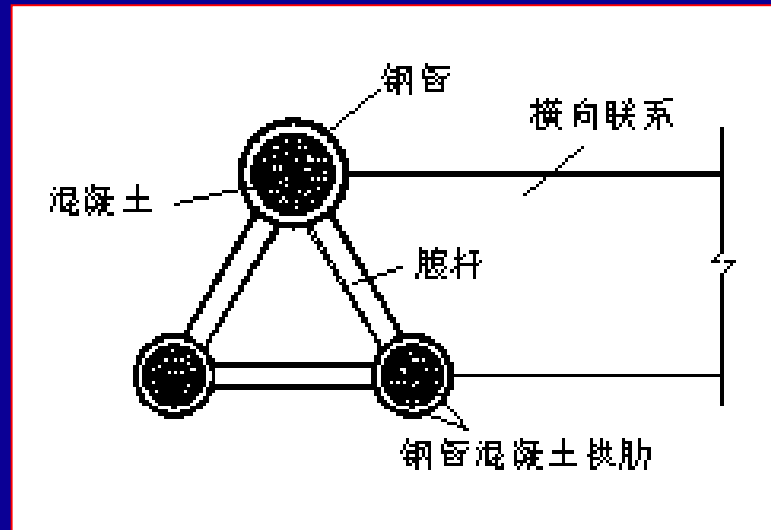
$$\sigma_1 = f'_c + k\sigma_2 \quad (1.1-3)$$

式中： $f'_c$ —混凝土的圆柱体强度； $\sigma_2$ —侧压应力值； $k$ —侧压效应系数。

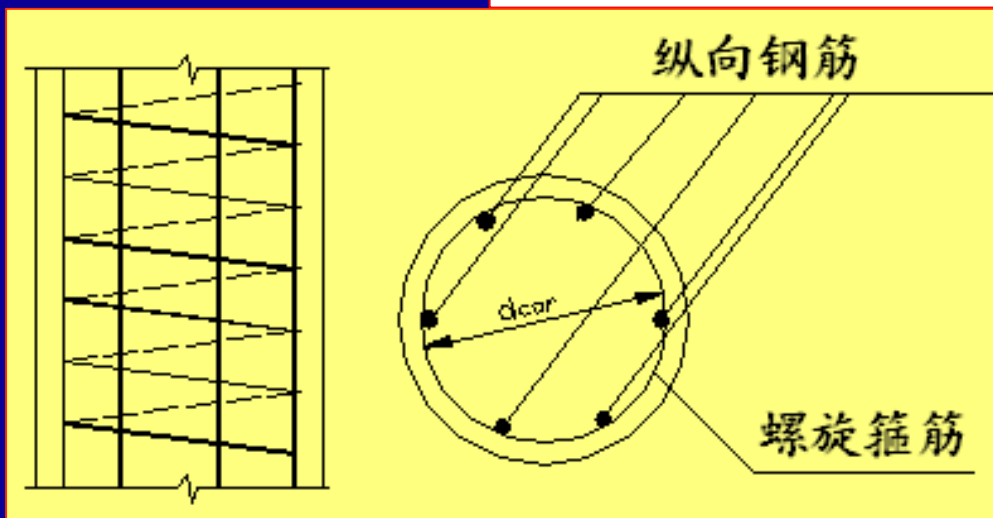


## 2. 复合应力作用下混凝土的强度

### 工程应用



钢管混凝土



螺旋箍筋柱



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

网络精品课程

教务处  
继续教育学院  
现代教育技术中心

联合录制

2014年3月